

半屋外空間におけるドライミストによる冷却効果： 実験とシミュレーション

著者	野中 淳史, 出口 清孝
出版者	法政大学情報メディア教育研究センター
雑誌名	法政大学情報メディア教育研究センター研究報告
巻	27
ページ	56-60
発行年	2013
URL	http://hdl.handle.net/10114/8201

半屋外空間におけるドライミストによる冷却効果

ー実験とシミュレーションー

COOLING EFFECT OF THE DRY MIST IN A SEMI-OUTDOOR SPACE -EXPERIMENT AND CFD SIMULATION-

野中 淳史¹⁾ 出口 清孝²⁾
Nonaka Atsushi, Deguchi Kiyotaka

¹⁾ 法政大学大学院デザイン工学研究科建築学専攻

²⁾ 法政大学デザイン工学部建築学科教授

This study validates the cooling effect of the dry mist in a semi-outdoor space by experiment and simulation. In the experiment to validate the measuring point measured nine locations have different height and position measurements of temperature and humidity, whether there is a different in the cooling effect due to the difference in height and position. Then, simulation and verification based on the measured value.

Keywords :Dry Mist, Heat Island, Hot day, Outdoor space, CFD, Simulation

1. はじめに

1.1 研究目的

本研究は、環境に低負荷な手法である「ドライミスト」¹⁾による冷却効果に着目し、噴霧実験とシミュレーションを行う。ドライミストの特徴は噴霧口から、粒径5～40[μm]の微小な水滴が噴出されるため、細かい粒子がガスのようにスプレー状に拡散する。スプレー状に噴出された細かな水滴は従来の散水に比べ気化しやすく、人や物が濡れにくいことである。ドライミストは空気中に直接微細の水滴を噴霧するため空気温度を低下させることができ、冷房の代用として利用することができる。さらに冷房と異なり屋外や半屋外空間において使用することができ、今まで外気温度の低下を考えられなかったような空間での使用が可能である。ドライミストによる温熱環境改善により熱中症対策への効果が期待できる。ドライミストにより生じる温熱環境の変化や、温度低下から見られる冷却効果について環境工学的

な視点から検証する。そして夏季の暑熱環境改善のためにドライミストが効果的であるか検証することを本研究の目的とする。

1.2 研究の独自性

近年、暑熱環境の悪化が問題視され、環境改善のために環境に低負荷な手法としてドライミストの研究が盛んに行われている。夏季における噴霧実験やシミュレーションも行われているが、屋外における研究よりも屋内における研究のほうが多く見受けられた。そして屋外実験とその実験データを使用したシミュレーションでは、実験データのうち風向と風速をシミュレーションに考慮しない設定で無風状態を想定した解析を行っている。2) そこで本研究の独自性としては、「家庭用ドライミスト装置」を使用して屋外におけるドライミスト噴霧実験を行う。そして実験で得られたデータを基に風向風速の設定を行った CFD 解析を行う。

2. ドライミスト噴霧実験

2.1 実験概要

本実験では温湿度の測定を高さや位置が異なる9カ所の測定箇所で行うことにより、高さや位置の違いによる冷却効果に違いがあるのかを検討する。またドライミスト噴霧域を日向（屋外）と日影（半屋外）、散水条件を常時運転と間欠運転の条件に分け、条件によるドライミストの冷却効果の違いを検証する。測定箇所や実験条件が異なる状況での実測結果からドライミストによる冷却効果を有効に利用できる位置や高さ、条件を調査することを本実験の目的とする。実験は東京都千代田区にある法政大学市ヶ谷キャンパス内の55年館、58年館校舎の屋上で2012年8月7日から10日までの4日間行った。



図.1 実験風景

Fig.1 Landscape of the experiment.

2.2 実験結果

実験で得た実測データの結果の報告と考察を行う。ドライミスト噴霧エリアでの計測点は9か所であるが、結果を考察する際に測定点の位置や高さが冷却効果との関係性を把握するために測定点の高さ別、位置別でそれぞれ平均した数値を用いて結果の報告を行う。

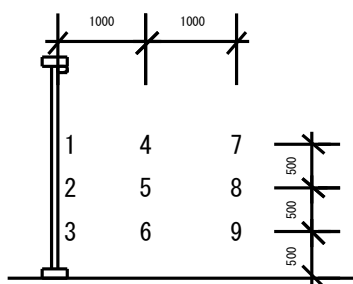


図.2 位置高さ別測定ポイント

Fig.2 Measurement position.

条件別実験の結果から本報ではドライミストによる冷却効果が顕著に表れた8日の日向常時噴霧について結果と考察を行う。

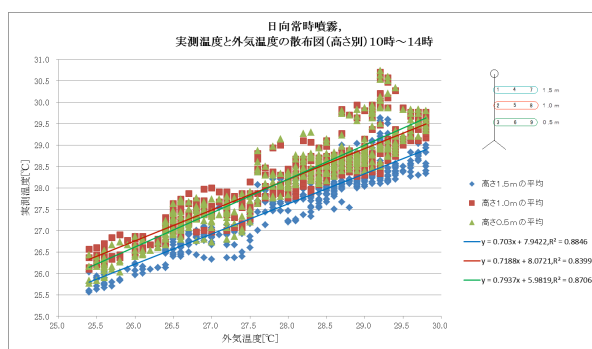


図.3 高さ別における実測温度と外気温度散布図

Fig.3 Scatter plot of the measured temperature and the temperature different height.

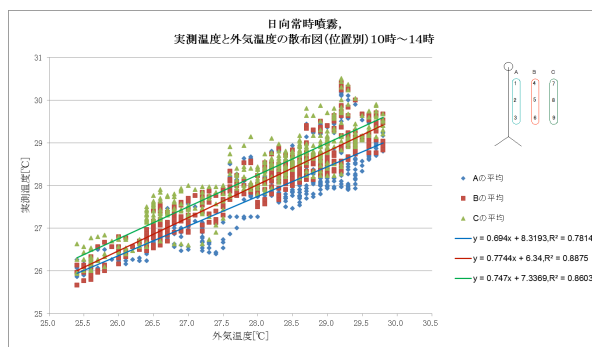


図.4 位置別における実測温度と外気温度散布図

Fig.4 Scatter plot of the measured temperature and the temperature different position.

図3、図4は高さ別・位置別における実測温度と外気温の散布図である。この結果から高さ別測結果に共通して言えることは、高さが高いミスト噴出点に近い測定箇所では冷却効果が表れている。位置別においてもミスト噴出点の真下に位置する測定箇所に冷却効果が表れている。屋外の実測では風の影響を受け、ミストの影響を受けやすい箇所で冷却効果が発揮された結果となった。更に、冷却効果の大きさはミストの影響を受けやすい位置や高さで変わってくるということが分かった。冷却効果が最も表れた高さ1.5[m]や位置Aの結果から、外気温が高くなるほど実測温度も高くなるが、外気温が1[°C]上がるにつれて実測温度は0.7[°C]程度しか上昇しない。これは外気温が高い日中において温度差が大きくなり、夏季の暑熱環境改善に効果的であると言える。

3. シミュレーションの概要

3.1 シミュレーションの目的

ドライミスト噴霧実験によって得られた実測結果に基づくドライミストの冷却効果の検証。実験から得られたデータをシミュレーションの初期条件とし、本研究で作成する簡易シミュレーションモデルの再現性を検証することが主な目的である。実測結果とシミュレーションの結果に再現性を証明することができれば、今後半屋外におけるドライミストを利用する際の冷却効果を予測するデータとなる。そして、シミュレーションに使用した条件の数値を変更することで今回のような外界環境以外の異なる条件下においてもドライミストを利用する際の冷却効果を予測することができる。

3.2 解析モデル

本研究を行うために、実験時の噴霧領域のコンピューターモデルを作成する必要がある。本研究では下記のようにモデル化し、以下の表のようにモデルの解析領域を設定した。また、この解析領域の広さは実験領域より X 方向がやや広く、開放的な空間となっている。実験を再現するためにモデルの方位を実験と同様に X 最大方向を北、X 最少方向を南に設定した。

表 1 解析領域

Table 1 CFD analysis domain.

	X方向[m]	Y方向[m]	Z方向[m]
最少面 (min)	0	0	0
最大面 (max)	24,000	14,000	6,000

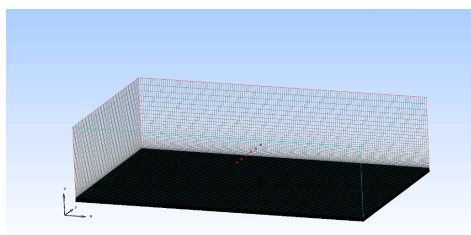


図.5 解析モデル全体図

Fig.5 CFD models overall view.

3.3 解析条件

シミュレーションを行うにあたり設定した条件を示す。シミュレーションは1サイクルを0.001秒として90,000サイクル行った。90秒間の解析結果から考察を行う。1サイクル当たりの時間が0.

001秒と短時間で、解析領域の広さが小さいにも関わらず総メッシュ数が750,000と多いように、噴霧実験を想定するシミュレーションは非常に細かな設定が必要である。噴霧条件も同様に細かく設定を行った。

表 2 設定条件

Table 2 Setting conditions.

	X	Y	Z	総メッシュ数
メッシュ要素数	150	100	50	750,000
時間間隔	1サイクル=0.001秒			
サイクル数	90,000			

噴霧条件は実験で使用したドライミスト噴霧器の性能を基に再現できるような設定を行った。粒子噴霧の解析における計算量は非常に大きいため簡略化が必要である。そこで、計算を簡略化させるための無数の噴霧の液滴のグループ化（パーセル）を行い、その液滴のグループ数の設定を行う。本研究では解析時間と解析制度のバランスを考慮し100[個/s]とする。

表 3 噴霧条件

Table 3 Spraying conditions.

	8日	9日	10日
噴霧方法	常時運転	間欠運転	間欠運転
噴霧期間	90秒まで	60秒まで	60秒まで
粒子質量[kg/s]	0.00083		
中心軸	(0,0,-1)		
噴出速度[m/s]			
噴出口直径[mm]	0.04		
噴出角[°]	0~22.5		
パーセル数[個/s]	100		

表 4 日別流入速度・流入方向・流入温度

Table 4 Wind inflow conditions.

	8日		9日		10日	
解析開始時刻	13 06 00		13 30 30		10 00 00	
流入空気温度[°C]	29.1		30.0		28.3	
経過時間[秒]	風速[m/s]	風向	風速[m/s]	風向	風速[m/s]	風向
0	0.0000	北	1.9560	東	1.3080	東
10	0.2640	東	1.9416	東	1.4520	東
20	0.2790	東	1.7808	東	0.9312	北
30	0.1840	東	1.8888	東	0.8400	北
40	0.0000	北	1.9392	東	0.6696	東
50	0.1950	南	1.2960	南	0.3984	南
60	0.7896	南	1.1232	南	0.3024	東
70	0.9360	南	1.1736	南	0.3048	西
80	1.1160	南	0.8616	南	0.7536	西
90	0.9240	南	1.2384	南	0.5880	南

外部から風が吹き込む解析では流れ境界のみ無風状態の解析と変更し、流れ境界を流速境界とした。壁境界と熱境界の設定変更は行っていない。流速境界とは設定した風向風速で空気が解析領域内を流れる

解析を行うことである。流速境界の設定により実測時の条件に近い解析を行うことができる。ドライミストに加え風向風速の解析条件を追加するにあたり風向風速の条件を簡略化するために、実測では風向風速の測定は2秒間隔で行ったが、解析では10秒ごとに平均した風速を設定した。また風向については東西南北の4方向のみの設定である。10秒ごとに平均した方向に最も近い方位から風が吹いているという設定を行った。流入空気温度は解析開始時刻の実測値の外気温度を設定した。90秒間という短い時間での解析のため時間経過による温度変化は無いものとし、解析開始時刻の温度が90秒間続く設定とした。

4. 解析結果

4.1 再現性の検証

実測結果とシミュレーションの結果から再現性の検証を行う。実測値とシミュレーションで算出した値（シミュ値）を比較して、温度差が小さいほど高い再現性が表れている。以下の表は90秒間のシミュレーションにおける、30秒ごとの各測定点の温度と、実測値との温度差である。

表 5 無風状態解析温度差
(実測値—解析値)

Table 5 Temperature difference value calm analysis.

30秒後[℃]	実測値	シミュ値	温度差	実測値	シミュ値	温度差	実測値	シミュ値	温度差
2012/08/08 13 06 30 (外気温 29.1)	27.4	25.7	1.7	28.2	26.3	1.9	28.8	28.3	0.5
	28.0	26.2	1.8	28.6	26.7	1.9	29.2	28.4	0.8
	28.5	26.1	2.4	28.8	26.3	2.5	29.1	27.3	1.8
	28.5	26.1	2.4	28.8	26.3	2.5	29.1	27.3	1.8
60秒後[℃]	27.4	25.5	1.9	28.2	26.6	1.6	28.8	24.7	4.1
	28.0	24.0	4.0	28.6	25.8	2.8	29.3	24.3	5.0
	28.5	23.5	5.0	28.9	23.1	5.8	29.1	22.3	6.8
	28.5	23.5	5.0	28.9	23.1	5.8	29.1	22.3	6.8
90秒後[℃]	27.4	26.9	0.5	28.2	26.5	1.7	28.9	26.1	2.8
	28.1	26.3	1.8	28.6	26.0	2.7	29.3	26.2	3.1
	28.5	23.7	4.8	28.9	23.7	5.2	29.2	25.6	3.6
	28.5	23.7	4.8	28.9	23.7	5.2	29.2	25.6	3.6

表5は無風状態を想定したシミュレーションの結果である。90秒間のシミュレーションを通して、実測と同じようにミストの影響を受けている箇所、受けていない箇所は温度差が小さくなっている。一方、実測でミストの影響を受けていないミストの噴出点から離れている箇所がシミュレーションでは低温になりすぎており、温度差が大きくなっている。これは風向風速の設定を行わなかったため、ミストが流されことなく測定箇所付近を冷やし続けたことが原因であると考えられる。全体的に実測値との

温度差がかなり大きく、再現性の低い解析となった。

表 6 無風状態解析温度差
(実測値—解析値)

Table 6 Temperature difference value wind analysis.

30秒後[℃]	実測値	シミュ値	温度差	実測値	シミュ値	温度差	実測値	シミュ値	温度差
2012/08/08 13 06 30 (外気温 29.1)	27.4	27.1	0.3	28.2	25.3	2.9	28.8	27.0	1.8
	28.0	28.0	0.0	28.6	27.0	1.6	29.2	27.5	1.7
	28.5	28.4	0.1	28.8	28.3	0.5	29.1	26.5	2.6
	28.5	28.4	0.1	28.8	28.3	0.5	29.1	26.5	2.6
60秒後[℃]	27.4	29.1	-1.7	28.2	28.6	-0.4	28.8	27.5	1.3
	28.0	29.1	-1.1	28.6	28.9	-0.3	29.3	27.7	1.6
	28.5	29.1	-0.6	28.9	28.9	0.0	29.1	27.6	1.5
	28.5	29.1	-0.6	28.9	28.9	0.0	29.1	27.6	1.5
90秒後[℃]	27.4	29.0	-1.6	28.2	29.0	-0.8	28.9	29.0	-0.1
	28.1	29.0	-0.9	28.6	29.0	-0.4	29.3	29.0	0.3
	28.5	28.9	-0.4	28.9	28.6	0.3	29.2	28.7	0.5
	28.5	28.9	-0.4	28.9	28.6	0.3	29.2	28.7	0.5

表6は実験時のように風向風速を設定したシミュレーションの結果である。

90秒間通して考えると全測定点で実測値との温度差が小さく非常に再現性の高い結果となった。シミュレーションに風向風速の設定を行うことで、外部から解析領域内より高温の空気が流入してくるため温度が低下しすぎることなく、実測値との温度差が小さくなった。実測値の温度差が1[℃]以内になる測定箇所が多くなり、高い再現性が表れた。無風状態の結果と比較して考えると、風向風速を設定したことで再現性がかなり高くなったことから、ドライミストを使用する場所が風の影響を受ける屋外や半屋外の場合はシミュレーションを行うには風向風速の設定が不可欠である。同時に屋外でドライミストの利用を考える際にシミュレーションにより冷却効果を予測することが可能であると言える。

4.2 冷却効果の検証

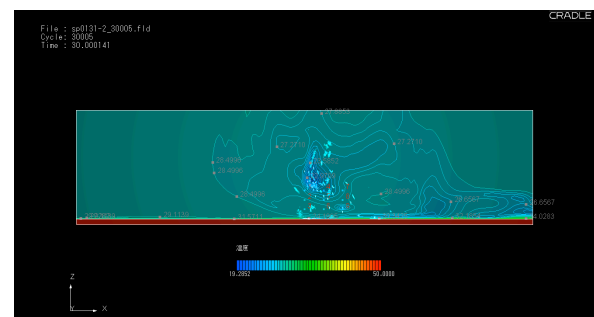


図.6 解析開始から 30 秒後温度分布図

Fig.6 Temperature distribution map after 30 seconds.

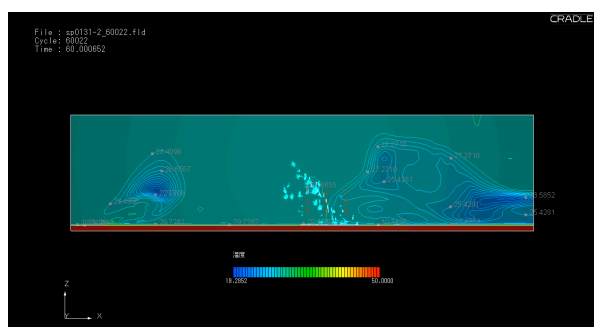


図.7 解析開始から 60 秒後温度分布図

Fig.7 Temperature distribution map after 60 seconds.

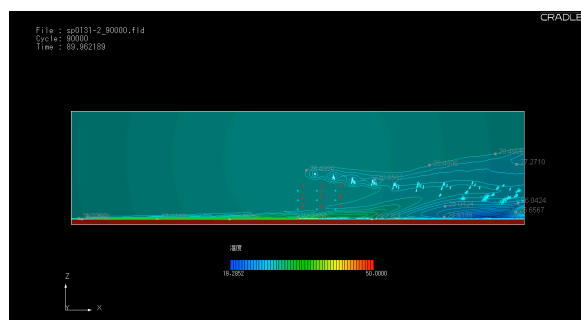


図.8 解析開始から 90 秒後温度分布図

Fig.8 Temperature distribution map after 90 seconds.

噴出されたミストの影響によりミスト付近の温度が低下し、ミストを中心として広がるように解析領域内の空気を冷却していることが分かる。冷却された空気は風の影響で領域内を移動している。解析領域内の風速が大きい箇所に冷えた空気が流されている。風速が約 1 [m/s] 程度になるとミストが真横に流されるようになり、冷却効果が表れる位置が予測しにくく、狙い通りの効果を期待できない。風速が大きい時間は、高温の地表面の影響で地表面付近の空気温度が上昇している。そして、風の影響を受けて暖められた空気が移動し、解析領域の初期設定温度より高温となる範囲が広がっている。無風状態に設定したシミュレーション結果で低い位置に冷却された空気が溜まったまま流れないでいたことから考えても、風速が小さい時間帯は噴出されたミストの勢いで地表面付近の温度を低下した空気が流れているので、解析領域内の温度が上昇する部分はあまり見られなかったことが分かる。

4. 結論

本研究では実験と、実験による実測データを基にしたシミュレーションの二つの手法を用いてドライミ

ストが周辺環境に及ぼす冷却効果について検証した。ドライミストへの環境工学的な視点からの理解、ドライミスト噴霧実験データに基づくシミュレーションの理解。これらの手法からドライミストが夏の暑熱環境の改善に効果的であるという結果を得ることができた。

シミュレーションでは屋外における風向風速を設定した解析を行った。屋外における風向風速を設定した解析は既往の研究が見受けられず、本研究の独自性が強い内容である。更に、風向風速の設定を行わないで解析を行ったシミュレーションの結果と比較すると、風向風速を設定した解析のほうが高い再現性が表れた結果となり、屋外におけるシミュレーションを行う際は風向風速の設定が不可欠だということが明らかになった。本研究において風向風速を設定して屋外環境を模したシミュレーションの結果が高い再現性を表していることから、ドライミストの利用を検討する際にはシミュレーションを行うことで屋外における冷却効果を予測できるということが検証された。

現在の建築にドライミストを応用するならば、ピロティやテラスのような解放空間で人が集まる場所が相応しく、夏季の暑熱環境の中で休憩するような場所にドライミストを利用すれば使用する人の快適性は向上し、熱中症患者数も減少することが考えられる。ドライミストによる冷却効果を上手に利用すれば空調設備に頼らない空間を作り出すことも可能であると思う。

謝辞. 本研究を行うにあたり、指導教授である出口清孝教授には研究全般にわたり多大なご指導を頂き感謝申し上げます。また、研究に協力していただいた本研究室研究生に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 能見防災 HP, <http://www.nohmi.co.jp/product/drymist.html>
- [2] 尹奎英・山田英貴・奥宮正哉, 辻本誠, "ドライミスト冷却効果の検証と CFD 解析 - ドライミストを用いる清涼システムに関する研究", 日本建築学会環境系論文集第 73 巻第 633 号 2008 年